

基于某模型自由飞试验的测控与信息传输系统设计

安玉娇, 刘朝君, 井立

(中国飞行试验研究院 飞机所, 西安 710089)

摘要: 针对模型自由飞试验的技术要求, 设计了某模型自由飞试验使用的测控与信息传输系统, 针对系统设计要点突破了多项关键问题, 给出了系统关键点的设计方法和具体实现过程, 并结合实例和仿真给出了相应的结果, 通过地面试验对整个测控与信息传输系统的性能进行测试, 包括地面及机载收发信机的接收灵敏度测试、系统时延测试等, 试验结果表明, 收发信机接收灵敏度及链路延时等指标都能满足模型自由飞试验的要求; 对同类型系统设计有重要参考价值。

关键词: 测控系统; 信息传输系统; 模型自由飞

Design of TT&C and Information Transmission System Based on a Model Free Flight Test

An Yujiao, Liu Zhaojun, Jing Li

(Aircraft Flight Test Technology Institute, CFTE, Xi'an 710089, China)

Abstract: According to the technical requirements of free flight test, a tracking, telemetry and command (TT&C) and information transmission system used in model free flight test is designed. A number of key issues are broken through according to the system design requirements. The key design method and implementation process of the system are presented. The performance of the TT&C and information transmission system is tested through the ground test, including the receiver sensitivity performance test, the system delay performance test, and other kinds of performance tests. The test results show that the receiver sensitivity and link delay can meet the requirements of the model free flight test. It has an important reference value to the same kind of system.

Keywords: tracking; telemetry and command (TT&C) system; information transmission system; model free flight test

0 引言

模型自由飞试验是当代航空技术必不可少的研究手段之一。在型号飞行试验中, 一些极限飞行状态的试验, 如失速/尾旋、过失速机动等, 由于试验的风险太大、代价太高, 为了降低风险, 避免盲目性, 用模型自由飞试验进行预先探索是一种有效的研究手段^[1]。在传统的模型自由飞试验中, 地面操纵飞行员只能依靠视距操纵模型验证机(简称模型)完成试飞科目, 试验范围有限, 天气等外在因素对试验的影响较大, 对于模型飞行姿态、速度和高度等关键信息的获取只能依赖于操纵飞行员的经验, 所以这种试验方法效率较低, 试验失败率较大, 且对于操纵飞行员的心理素质及能力要求极高, 如果速度和高度判断不准, 容易导致模型回收失败, 造成严重经济损失。在模型自由飞试验中利用测控与信息传输系统可以实现超视距操纵模型进行试验的目的。

测控与信息传输系统是地面任务站与模型之间联系的唯一通道, 承担着对模型飞行控制指令的抗干扰传输, 并将采集到的设备状态、关键试验数据等信息实时传回到地面任务站各单元的任务。目前, 对测控与信息传输技术的应用与介绍大多是针对无人机系统或多无人机系统而言的^[2-3], 与无人机飞行和

执行任务的特点都密切相关。本文从模型自由飞试验任务的特点出发, 详细讨论了基于某模型自由飞试验的测控与信息传输系统设计全过程, 并通过地面试验结果分析了测控与信息传输系统的重要性能。

1 测控与信息传输系统设计要点分析

模型自由飞试验可降低全尺寸飞机的试飞风险, 尤其在大迎角特性飞行试验中, 利用模型自由飞试验结果来分析全尺寸飞机的大迎角飞行特性, 可以对全尺寸飞机的飞行试验、飞行动作设计提供依据, 避免其盲目性。根据模型自由飞试验的特点, 对测控与信息传输系统设计要点进行了如下分析:

1) 模型进入失速、尾旋飞行状态时, 其机动性很强, 姿态变化急剧, 例如其方位姿态变化有时可达 $200^\circ/\text{s}$, 为保证信号传输的可靠性, 必须考虑由于模型姿态剧烈变化可能引起的机载天线遮挡问题。

2) 模型在空中进行失速、尾旋的飞行试验时间持续较短, 对于无动力模型自由飞试验而言, 从模型经载机投放到最终开伞落地的时间大约为 20 s, 这就要求模型验证系统数据链路传输具有较高的实时性, 以保证能够及时地获取飞行试验数据。

3) 试验过程中, 模型的下降高度变化迅速, 法向过载比较大, 要求地面跟踪设备在俯仰方向上要具备较高的跟踪性能。在测控与信息传输系统设计中应保证系统具备较精准的测距和测角功能。

4) 一般情况下, 模型都是其对应机型的缩比形式, 所以其体积相对较小, 其所能容纳机载设备的空间很有限, 这对机载设备的小型化设计技术提出了较高的要求。

5) 对于无动力模型自由飞而言, 回收方式一般为伞降回

收稿日期:2015-10-06; 修回日期:2015-12-28。

作者简介: 安玉娇(1983-), 女, 河北唐山人, 工程师, 主要从事无人机与模型飞行试验技术方向的研究。

刘朝君(1986-), 女, 陕西西安人, 工程师, 主要从事无人机与模型飞行试验技术方向的研究。

收,如果开伞不利或伞降高度不够的话,可能会使模型在触地时承受较大的冲击;对于带动力模型自由飞而言,其发动机一般具有较大的振动,这就要求机载设备具有较高的抗冲击能力和抗振特性。

模型测控与信息传输系统的研制必须充分考虑模型自由飞试验的特点,在机载天线组合,链路传输实时性、准确性和可靠性,跟踪模型试验动作快速性,机载设备抗振及抗冲击能力等方面都提出了比较高的要求。

2 测控与信息传输系统设计

2.1 系统功能描述

测控与信息传输系统主要由机载测控设备和地面测控设备两大部分组成。机载测控设备通过遥测链路将采集到的图像信息和飞行参数传送到地面站,然后地面测控设备对遥测链路数据进行解调和解码并送至地面站的显控系统显示,操纵飞行员根据飞行状态和飞行参数等信息,使用飞行操纵系统来控制模型飞行。地面飞行控制计算机根据操纵信息,解算出控制指令,通过地面测控设备中的遥控发射系统上传给模型,机载测控设备接收到指令后通过飞行控制系统生成控制信号,驱动伺服机构来控制模型的飞行。图 1 和图 2 分别为机载和地面测控设备组成原理图。

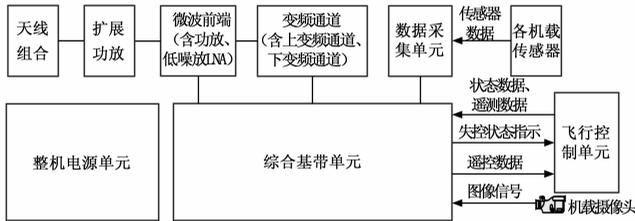


图 1 机载测控设备组成原理图

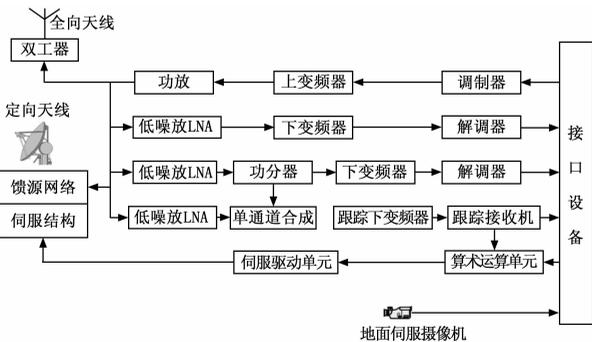


图 2 地面测控设备组成原理图

2.2 机载系统天线设计

传统的线极化天线在飞机机动性较大或者受到机体遮挡等因素影响时,自身设计不足或受机体的影响,会形成“凹坑”,即某些俯仰角度上天线的增益较低。

当飞机的机动性较小时,通过合理设计天线的方向图或者在飞机机体上选择天线的合适位置,能够避免“凹坑”在使用过程中出现。然而在使用模型进行飞行试验时,其机动性一般都很高,这就使得“凹坑”可能会在某个俯仰角度上出现,当模型一直以该姿态飞行时,就会造成机载与地面之间信号产生中断,影响飞行安全。

为了解决该问题,在测控与信息传输系统中,机载采用双天线组合作,即在模型合适位置上安装两个机载天线,两个

天线的方向图能够在每个方向上都能够达到设计的天线增益,使得飞机在高机动状态下以保持接收或者发射信号稳定,保证飞行试验的安全。

2.3 遥控传输编码方式确定和实现

遥控采用 DS(直接序列扩频) + QPSK(四相相移键控)调制体制。直接序列扩频具有很好的抗多径和抗有源干扰的能力, QPSK 调制是一种具有较高频带利用率和良好的抗噪声性能的调制方式。

对于遥控数据,若采用交织编码加卷积编码的方式,会增加遥控指令的传输时延。本系统采用了(4, 3, 7)卷积编码方式,按照数据传输速率为 50 kbps 计算,可获得约 3.5 dB 的编码增益,且在一定程度上能满足系统时延的要求。

在扩频码率的选择上,考虑到系统带宽和抗干扰能力,选用的扩频码率为 6.144 Mchip/s,其扩频增益大致为 20 dB。图 3 为遥控编码和调制体制实现框图。

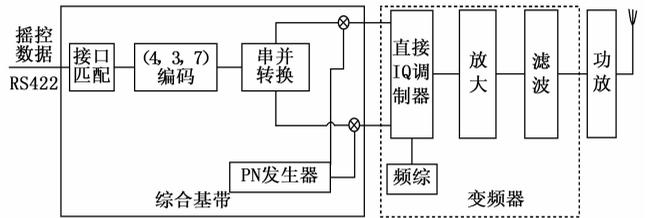


图 3 加入编码和采用 QPSK 的遥控链路调制实现框图

2.4 遥测和图像传输编码方式确定和实现

遥测和图像采用同一链路进行传输,为了简化系统设计并达到性能优化的目的,采用 UQPSK 调制域复合传输体制,即不平衡 QPSK 调制方式,实质是同频正交的 BPSK(二相相移键控)调制信号的复合。其中图像支路分配较高的功率,遥测信号相对于图像而言码率很低,只需要分配较小的功率。进行 BPSK 调制之前,首先对遥测信号进行直接序列扩频,达到图像信号的带宽,然后进行复合传输。

对于图像数据,可采用 RS(255, 223) + (2, 1, 7) 卷积编码方式,可获得约 7 dB 的编码增益。

对于遥测数据,为保证数据传输的低延时性,也没有采用交织编码加卷积编码的方式,而同样采用(4, 3, 7)卷积编码方式,按照遥测数据传输速率为 100 kbps 计算,可获得约 3.5 dB 的编码增益。遥测的扩频码率与遥控相同,这样扩频增益大致为 15 dB。加入编码和采用 UQPSK 的遥测和图像链路调制实现如图 4 所示。

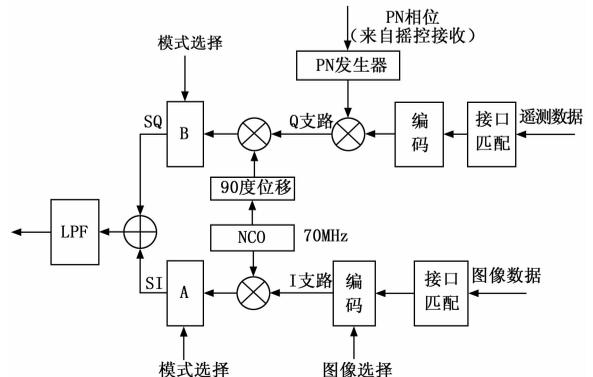


图 4 加入编码和采用 UQPSK 的遥测和图像链路调制实现框图

2.5 图像压缩处理技术仿真分析

为了更好地对模型进行操纵, 操纵飞行员要能够很好地观察到模型的飞行姿态, 故对图像压缩质量要求较高。

为了保证较高的视频质量, 系统选用目前应用最多的视频图像压缩标准 H. 264 进行视频图像的压缩。H. 264 在数据处理过程中采用了整数 DCT 变换, 多种模式的帧内、帧间预测, 可变速长编码等编码性能较高的技术。

图 5 给出了在输入为单帧大小为 720×576 的标准测试序列, 码率为 2 M, 帧率为 25 帧/秒的情况下仿真结果中某一帧的比较图。如图 5 (a), (b) 所示, 解码图像主观质量几乎没有差别。

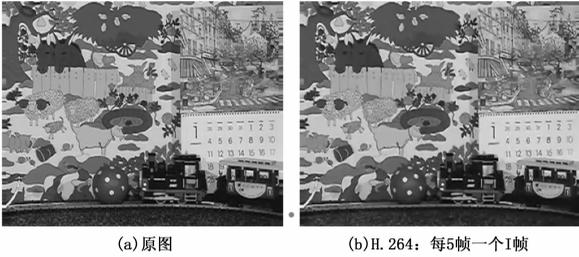


图 5 仿真结果中某一帧的比较结果

经过仿真比较, 从解码图像重建时间和编码质量两方面综合考虑, 采用每 5 帧一个 I 帧的 H. 264 算法, 用 2 Mbps 传输速率传输分辨率为 (720×576) 的输入图像, 能够很好的满足本系统的技术要求。

2.6 系统跟踪定位功能实现

为实现对模型机的跟踪定位, 必须实时获得模型的方位和距离信息, 因此, 系统必须具备对模型机进行测距和测角的功能。

系统采用伪码测距技术实现对模型的测距功能。伪码测距可以直接利用遥控遥测信号的扩频传输体制, 不需要额外增加频率和硬件资源, 只需要在 FPGA 平台中嵌入相应的处理算法, 具体方法如下:

在 PN 码捕获跟踪后, 利用接收的 PN 控制遥测数据的 PN 扩频序列相位。在地面接收设备中, 接收到的遥测数据帧和地面发送遥控数据帧的位数差以及其 PN 序列的相位差也就对应着遥测遥控数据在空中传播的时间延迟, 距离就是利用这两个比较值来计算的, 如图 6, 图 7 所示。

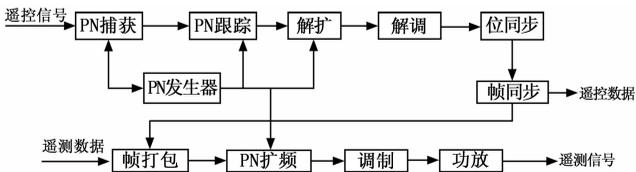


图 6 测距系统机载单元

模型在空中进行飞行试验时与地面系统的角度关系始终是变化的, 这就需要地面天线具有跟踪能力以保证链路通畅, 对模型的“定位”功能要求系统的测角精度较高。本系统采用“单脉冲”跟踪体制, 采用数字伺服接收机对两路接收天线的信号进行接收并处理, 解调出角度信息。角度信息送给天线控制单元, 驱动方位电机使得天线指向模型。此外, 还可以与 GPS 导航定位数据进行融合, 以提高定位精度。

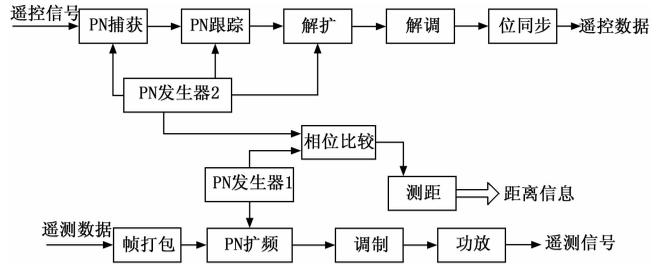


图 7 测距系统地面单元

3 试验结果及分析

3.1 试验概述

通过地面试验对整个测控与信息传输系统的性能进行测试, 主要包括地面/机载收发信机的接收灵敏度测试、系统时延测试、数据传输速率测试以及测距功能测试等多个方面。由于篇幅有限, 下面仅给出地面/机载收发信机的接收灵敏度测试及系统时延的测试方法及结果, 并进行相应的分析。

3.2 地面/机载收发信机的接收灵敏度测试

接收灵敏度用门限电平值进行表征, 检测当链路衰减达到指标要求的数值时, 遥控、遥测及图像链路是否能够稳定建立, 并且传输误码率是否满足指标要求。接收灵敏度测试原理如图 8 所示。

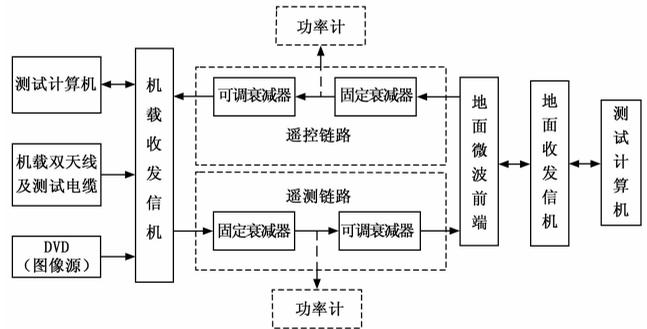


图 8 接收灵敏度测试原理

机载收发信机接收灵敏度测试方法: 将遥控链路总衰减值调为固定值, 设备加电, 工作于默认频点, 等待链路工作稳定; 通过调节可调衰减器的衰减值, 使机载收发信机入口处的电平设定在门限电平附件, 并且确保遥控链路可稳定工作; 按照接口协议用串口调试软件以 15 ms 为周期发送遥控数据, 查看对应的机载输出端有无正确的数据输出, 逐渐增大衰减值, 并记录最大衰减值; 将可调衰减器调至 0 dB, 利用功率计测试机载设备遥控信号输入端的功率, 该功率值减去记录的最大衰减值即为遥控信号的接收灵敏度。遥测及图像信号的接收灵敏度测试方法原理相同, 不再赘述。表 1 为机载收发信机接收灵敏度测试值。序号 1~12 表示对应 1~12 个频点。

通过表 1 中的测试数据可知机载收发信机的接收门限电平值均小于 -110 dBm, 满足指标要求。

3.3 系统实时性测试

时间延迟是指以地面飞行控制计算机发送测试数据的时间点为起始点, 数据经过遥控遥测链路传输再次回到地面飞行控制计算机时所经历的时间间隔。测试数据选取 1~100, 地面飞行控制计算机以自己的时钟为周期发送测试数据, 第一次发送

(下转第 117 页)